

# PEMISAHAN ASETON DARI CAMPURAN ASETON-ETANOL-AIR-n-BUTANOL DENGAN KOLOM PEMISAH PADA KONDISI ATMOSFERIK

Iryanti Fatyasari Nata\*, Chairul Irawan\*\*

## ABSTRACT

*Fermenting molasses using Clostridium Acetobutylicum can produce a mixture of acetone (1)/ethanol (2)/water (3)/n-butane (4). The fermentation products are then separated and purified in a series of distillation column. This work is primarily concerned with the effect of operating pressure increased from 0.6 atm to atmospheric on the distillation column performance. Distillation column was designed using computer programs written in VISUAL FORTRAN 5.0. A rigorous equilibrium based calculation method due to Wang-Henke that taking into account the effects of non-equal molar overflow and non-ideal vapor-liquid equilibrium was used in study. UNIQUAC, a method of estimating activity coefficient in non-ideal liquid mixtures, was used to model the vapor-liquid equilibrium. The column performance was studied by varying the operating pressure that is constrained by the cooling water temperature in the condenser.*

*The numbers of plates are 50 and feed plate location at 12<sup>th</sup> plate below the condenser for acetone column. By increasing pressure 0.6 atm to atmospheric for acetone column increased 19.58% reflux ratios, 13.22% condenser and 15% reboiler duty. On atmospheric condition distillation column need supplied energy 653,312 cal/hr. The product was 99.4-wt % acetone and 98% recovery of acetone.*

**Key word :** Computer simulation, distillation column, purity of ethanol.

## PENDAHULUAN

Campuran aseton-etanol-air-n-butanol dapat diperoleh dari fermentasi molasses sebagai limbah pabrik gula. Pada fermentasi ini bakteri yang mampu mengkonversi bahan tersebut adalah *Clostridium Acetobutylicum* (Roffler dkk.1987). Dalam merancang kolom distilasi masalah utama adalah menentukan jumlah *plate*, letak *plate* umpan, refluks rasio, beban kondensor dan reboiler. Perhitungan distilasi multikomponen memerlukan penyelesaian yang simultan dari neraca massa, neraca panas, kesetimbangan uap-cair (VLE) dari sistem. Selain itu perlu dihitung distribusi komponen, temperatur, laju alir cairan dan uap tiap *plate*. Dari segi termodinamika persoalan kesetimbangan akan bertambah rumit karena campuran aseton-etanol-air-n-butanol merupakan campuran yang tidak ideal, oleh karena itu penyelesaian persamaan yang lebih teliti secara analitis sulit dilakukan. Dengan kemajuan teknologi, persoalan tersebut dapat diselesaikan dengan simulasi komputer seperti yang dilakukan pada penelitian ini.

## TINJAUAN PUSTAKA

Mengacu pada peneliti terdahulu, yaitu Roffler dkk. (1987), empat buah kolom distilasi digunakan untuk memisahkan campuran aseton-etanol-air-n-butanol.

## Proses Pemisahan Aseton-Etanol-Air-n-Butanol

Pemisahan ini diawali dari produk atas *beer stripper* yang mengandung 70% berat air dan 30% berat aseton-etanol-n-butanol. Produk atas dari *beer stripper* diumpankan ke kolom aseton. Kolom aseton menghasilkan produk atas 99,5% berat berupa aseton pada 0,7 atm. Produk bawah diumpankan ke kolom etanol yang beroperasi 0,3 atm. Kolom ini menghasilkan 95% berat etanol dan produk bawah diumpankan ke *decanter*. Selain dari kolom etanol, *decanter* menerima umpan dari produk atas *water stripper* dan *butanol stripper*. Fasa kaya air mengandung sekitar 95% berat butanol dan diumpankan ke *water stripper*. Fasa kaya butanol mengandung sekitar 23% berat air diumpankan ke *butanol stripper*. *Water stripper* beroperasi pada 0,3 atm dengan produk bawah air dengan kandungan 0,01% berat. *Butanol stripper* beroperasi pada 1,5 atm dengan produk bawah 99,7% berat n-butanol. Penelitian selanjutnya mengkondisikan tekanan kolom pemisah (aseton dan etanol) pada tekanan *vacuum* untuk menghemat utilitas/energi yang digunakan pada proses pemisahan. Hasilnya kemurnian aseton 99,5% berat dan etanol 75,6% berat dengan kondisi operasi 0,6 atm untuk kolom aseton dan 0,2 atm untuk kolom etanol (Renanto dan Iryanti, 2001).

\* Iryanti Fatyasari Nata, MT., Staf Pengajar Program Studi Teknik Kimia, FT Unlam, Banjarmasin

\*\* Chairul Irawan, MT., Staf Pengajar Program Studi Teknik Kimia, FT Unlam, Banjarmasin.

## Metode Bubble Point (Wang-Henke) Untuk Perhitungan Distilasi

Kolom distilasi dengan model skematik *Countercurrent Cascade N plate* keseimbangan meliputi 4 (empat) golongan persamaan (*MESH Equation*) sebagai berikut :

☞ **Persamaan M** (*material balance*) untuk tiap komponen (C persamaan untuk tiap *plate*).

$$M_{ij} = L_{j-1}X_{ij-1} + V_{j-1}y_{ij+1} + F_jz_{ij} - (L_j)X_{ij} - (V_j)y_{ij} = 0 \quad (1)$$

☞ **Persamaan E** (*equilibrium relation*) untuk tiap komponen (C persamaan untuk tiap *plate*).

$$E_{ij} = y_{ij} - K_{ij}x_{ij} = 0 \quad (2)$$

$K_{ij}$  = rasio kesetimbangan fasa

☞ **Persamaan S** (*summation of mole fraction*) untuk tiap-tiap *plate*.

$$(S_y)_j = \sum_{i=1}^c y_{i,j} - 1,0 = 0 \quad (3)$$

$$(S_x)_j = \sum_{i=1}^c x_{i,j} - 1,0 = 0 \quad (4)$$

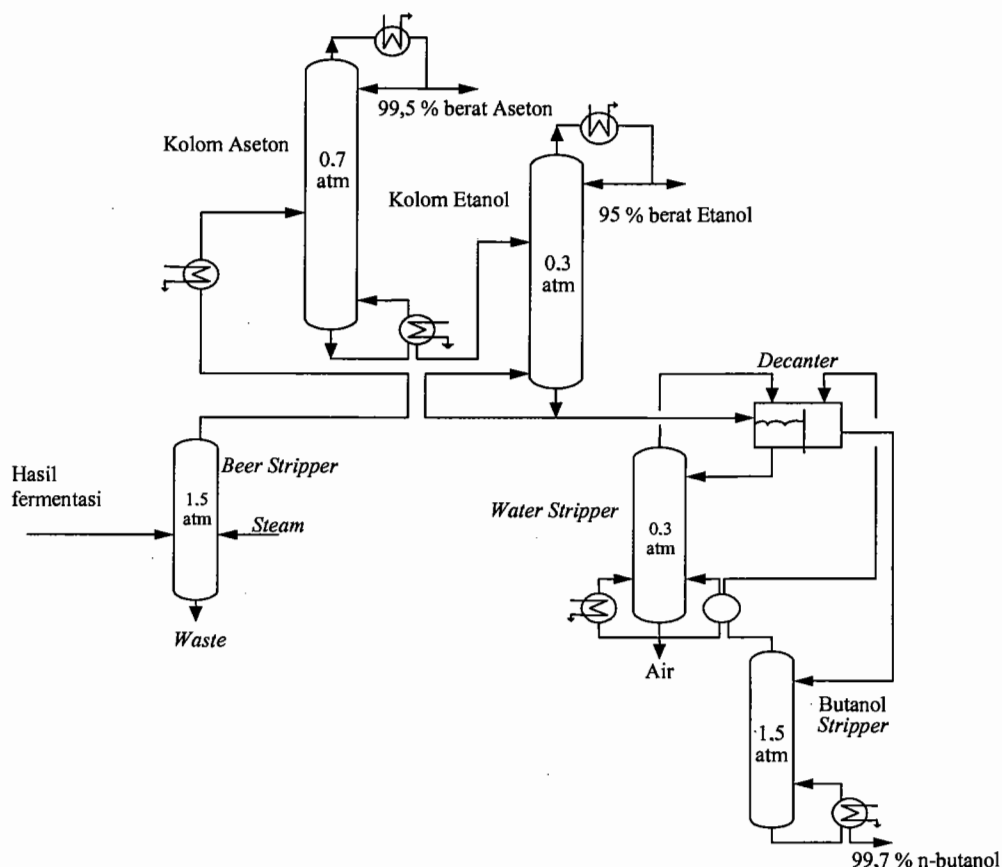
☞ **Persamaan H** (*enthalpy balance*) untuk masing-masing *plate*

$$H_j = L_{j-1}H_{L,j-1} + V_{j+1}H_{V,j+1} + F_jH_F - (L_j)H_{L,j} - (V_j)H_{V,j} - Q_j = 0 \quad (5)$$

Dimana perubahan energi potensial dan kinetik diabaikan.

Selain 5 (lima) buah persamaan di atas terdapat persamaan neraca massa total dari *plate* 1 sampai j yang merupakan kombinasi dari persamaan (3) atau (4) dengan persamaan (1).

$$L_j = V_{j+1} + \sum_{m=1}^j (F_m - W_m - U_m) - V_1 \quad (6)$$



Gambar 1. Proses pemisahan campuran aseton-etanol-air-n-butanol

Pada pemisahan campuran aseton-etanol-air-n-butanol, prediksi kesetimbangan uap-cair (VLE) dan cair-cair (LLE) telah banyak dilakukan seperti yang dipublikasikan oleh Gmehling dan Ongken (1977), Ismartono dan Syamsul (1997), dan Wiryanto dan Teddy (1999). Tekanan uap jenuh suatu zat dapat diestimasi dengan persamaan Antoine (Prausnitz dkk. 1977), sedangkan nilai koefisien aktifitas komponen dalam campuran dapat dihitung dengan korelasi UNIQUAC (Walas, 1985). Data entalpi uap dan cairan diprediksi oleh Reid dan Prausnitz (1987). Algoritma matriks tridiagonal yang digunakan Wang-Henke dikembangkan oleh Thomas, dengan mengeliminasi  $y$  dan  $L$  dari neraca massa ( $M$ ) (Henley dan Seader 1981).

#### Laju Alir Uap dan Cairan pada Tiap Plate

Laju alir uap dapat dihitung dengan persamaan neraca entalpi (Henley dan Seader 1981):

$$\alpha_j V_j + \beta_j V_{j+1} = \delta_j \quad (7)$$

$$\text{dimana : } \alpha_j = H_{L,j-1} - H_{V,j} \quad (8)$$

$$\beta_j = H_{V,j-1} - H_{L,j} \quad (9)$$

$$\delta_j = \left( \sum_{m=1}^{j-1} (F_m - W_m - U_m) - V_1 \right) (H_{L,j} - H_{L,j-1}) + F_j (H_{L,j} - H_{F,j}) \quad (10)$$

Secara umum nilai aliran uap tiap plate adalah :

$$V_j = \frac{\delta_{j-1} - \alpha_{j-1} V_{j-1}}{\beta_{j-1}} \quad (11)$$

Laju alir cairan pada plate dapat dihitung :

$$L_j = V_{j+1} + \sum_{m=1}^j (F_m - U_m - W_m) - V_1 \quad (12)$$

Kebutuhan energi kondensor dan reboiler dihitung berdasarkan persamaan :

$$Q_N = \sum_{j=1}^N (F_j H_{F,j} - U_j H_{L,j} - W_j H_{V,j}) - \sum_{j=1}^{N-1} Q_j - V_1 H_{V,1} - L_N H_{L,N} \quad (13)$$

#### Kriteria Konvergensi

Kriteria yang disarankan Wang-Henke merupakan jumlah dari *error* tiap plate yang dikuadratkan. Hal ini tidak menunjukkan *error* tiap-tiap plate yang memenuhi toleransi, sehingga dibuat kriteria konvergensi yang berdasarkan *error* tiap plate yang memenuhi toleransi.

$$|T_j^{(k)} - T_j^{(k-1)}| \leq \epsilon \quad (14)$$

Nilai  $\epsilon$  merupakan nilai toleransi suhu tiap-tiap plate, sehingga dengan kriteria ini dapat memeriksa perbedaan suhu iterasi tiap-tiap plate agar memenuhi *error* yang ditoleransi.

#### METODOLOGI PENELITIAN

Pengerjaan dibagi dalam dua tahap, yaitu tahap perancangan kolom dan tahap unjuk kerja kolom etanol berdasarkan perubahan tekanan total kolom. Program yang digunakan adalah program yang dibuat sendiri dengan menggunakan bahasa **FORTRAN**.

Asumsi yang digunakan dalam perhitungan ini adalah gas ideal dan beda tekanan tiap plate sebesar 0,0034 atm, umpan dan refluks masuk cairan jenuh (*saturated liquid*), kolom distilasi sederhana dengan menggunakan kondensor total dan reboiler parsial, efisiensi plate 100 %.

Tabel 1. Komposisi umpan berupa cairan (Roffler, 1987), dengan basis perhitungan = 1000 kgmol/jam.

Komponen	Fraksi berat	Fraksi mol
Aseton	0,07684	0,03122
Etanol	0,02184	0,01093
Air	0,70000	0,89580
n-butanol	0,19952	0,06205

Tekanan kolom aseton 1 atm, jumlah plate kolom 50 buah, letak plate umpan ke-12.

#### Kolom Pemisah Aseton

Pada penelitian ini, peneliti mencoba mengkondisikan tekanan total kolom aseton menjadi 1 atm. Hal ini dilakukan karena dari penelitian terdahulu (Renanto dan Iryanti, 2001) tekanan total kolom aseton adalah 0,6 atm dengan kemurnian serta *recovery* aseton sebagai produk atas 99,5% berat dan *recovery* 99%. Dengan kondisi kolom aseton 1 atm diharapkan dapat menghemat energi yang digunakan, dimana tidak diperhitungkan energi yang memvakumkan kolom aseton.

#### Algoritma Perhitungan Metode Bubble Point dari Wang-Henke

1. Spesifikasi problem meliputi komposisi, kondisi termal dan lokasi umpan masuk, tekanan tiap plate, perpindahan panas dari dan menuju tiap plate, kecuali untuk plate ke-1 (kondensor) dan plate ke-N (reboiler), jumlah plate total, memasukkan nilai tekanan kolom, jumlah plate,

letak *plate* umpan, laju produk atas dan refluks rasio.

2. Menghitung nilai awal untuk variable  $T_j$  dan  $V_j$ .
3. Menghitung komposisi tiap *plate* ( $x_{ij}$ ) dengan metode Thomas.
4. Menormalisasi komposisi ( $x_{ij}$ ) tiap *plate*.
5. Menghitung ( $T_j$ ) baru dari perhitungan *bubble point* tiap *plate*.
6. Menghitung kebutuhan beban kondensor ( $Q_c$ ) dan beban reboiler ( $Q_R$ ).
7. Menghitung laju alir uap ( $V_j$ ) dan cairan ( $L_j$ ) tiap *plate* dari persamaan neraca panas dalam bentuk matrik didiagonal.
8. Menguji toleransi *error* pada persamaan (14), bila memenuhi perhitungan selesai dan bila tidak memenuhi maka ulangi perhitungan kembali pada langkah 3.

Pada tahap unjuk kerja kolom akan dipelajari pengaruh **perubahan tekanan total kolom** terhadap refluks rasio, kemurnian etanol, laju destilat, *recovery* etanol dan beban reboiler dan kondensor. Perubahan ini dapat dilihat pengaruhnya terhadap profil suhu tiap *plate*, komposisi cairan tiap *plate*, komposisi uap tiap *plate* dan laju alir molar uap dan cairan tiap *plate*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penentuan Jumlah *Plate* Kolom Aseton

Untuk mendapatkan spesifikasi produk yang diinginkan, penentuan jumlah *plate* merupakan salah satu masalah penting dalam kolom distilasi. Penentuan jumlah *plate* tidak terlepas dari penentuan letak *plate* umpan dan nilai refluks rasio untuk penggunaan kebutuhan energi reboiler dan kondensor yang minimum. Pada kolom aseton ditetapkan jumlah *plate* 50 dengan *feed plate* ke-12 (Iryanti dan Chairul, 2003).

### Unjuk Kerja Kolom Aseton

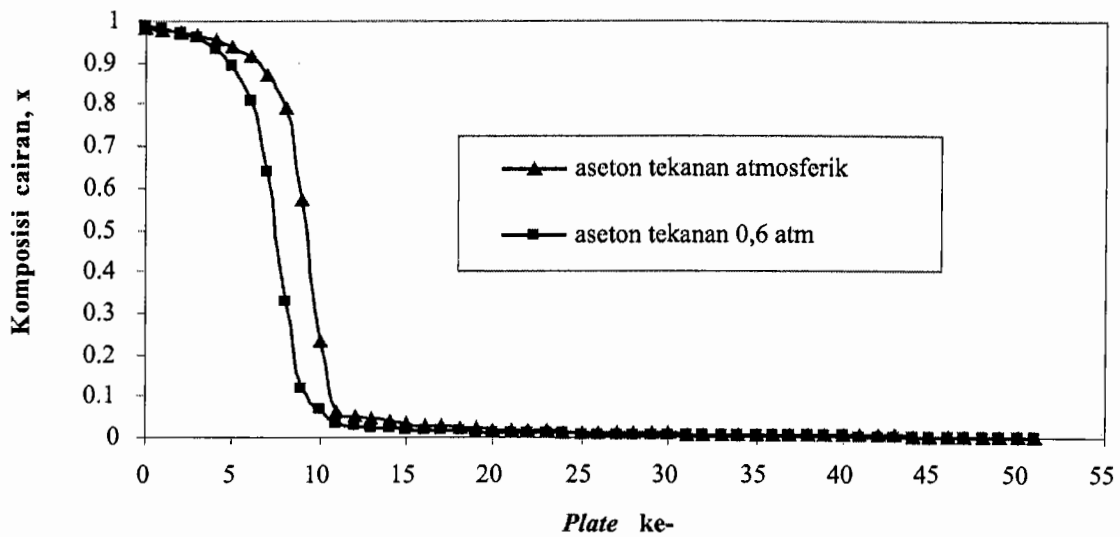
Kinerja kolom aseton terhadap perubahan tekanan dipelajari untuk mengetahui pengaruh tekanan terhadap refluks rasio ( $R$ ), temperatur atas kolom ( $T_{top}$ ), energi reboiler ( $Q_R$ ) dan kondensor ( $Q_C$ ). Umpan yang dipisahkan merupakan cairan jenuh dengan komposisi air yang besar. Hal ini akan mempengaruhi profil suhu, komposisi uap dan cairan serta laju alir molar uap dan cairan tiap-tiap *plate*. Temperatur atas kolom sangat berpengaruh terhadap

beban kondensor yang digunakan. Pada kolom aseton media pendingin yang digunakan adalah air. Dengan pendingin air temperatur atas kolom minimal 308 K dari hasil simulasi pada tekanan atmosfer temperature atas kolom 326,91 K.

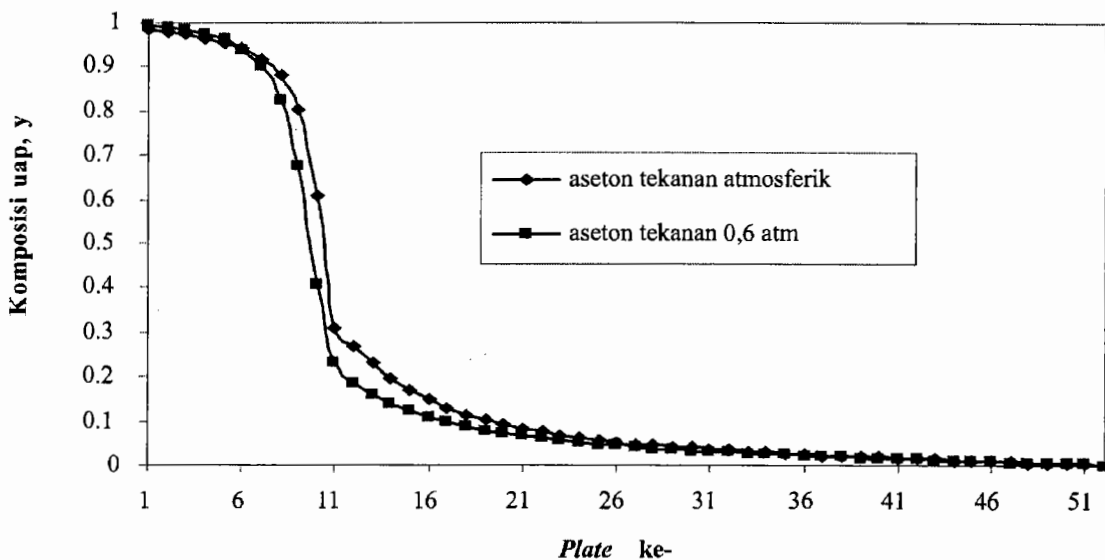
### 1. Pengaruh Tekanan Total Kolom terhadap Distribusi Komponen Kunci

**Gambar 2** menunjukkan profil komposisi mol cairan etanol tiap *plate* untuk tekanan atmosfer kolom aseton. Pada bagian *stripping* (di bawah *plate* umpan) kenaikan komposisi cairan mol etanol konstan, sedangkan bagian *enriching* (di atas *plate* umpan) komposisi mol cairan bertambah dengan cepat sampai komposisi etanol mencapai 0,984 mol (99,4 % berat). Hal ini juga berlaku untuk komposisi mol uap aseton yang ditunjukkan pada **gambar 3**, dimana distribusi mol uap aseton meningkat pada bagian *enriching* (setelah *plate* umpan). Pada bagian *stripping* ini terjadi kenaikan mol aseton yang konstan dari *plate* ke-50 sampai *plate* ke-12 di bawah kondensor. Hal ini disebabkan campuran umpan yang masuk sangat encer. Perbandingan komposisi umpan antara komponen kunci ringan (aseton) dengan komponen kunci berat (air) sangat besar, yaitu 3: 90. Komposisi komponen berat yang sangat besar menyebabkan mol aseton lebih sukar menguap. Distribusi mol cairan maupun uap etanol pada bagian *stripping* kenaikannya sangat kecil. Pada bagian *enriching* mulai terjadi pemisahan aseton dari campurannya sampai komposisi 99,4 % berat. Kenaikan komposisi mol etanol lebih cepat pada bagian *enriching* karena kandungan komponen air berkurang, sehingga fraksi kaya aseton semakin besar sampai kemurnian 99,4 % berat.

Perubahan tekanan kolom dari 0,6 atm menjadi 1 atm menyebabkan distribusi mol cairan maupun uap aseton mulai naik sampai *plate* ke-10. Hal ini disebabkan kenaikan tekanan total kolom mengakibatkan tekanan tiap *plate* bertambah yang diikuti kenaikan temperatur. Perhitungan komposisi tiap *plate* tergantung temperatur tiap *plate*-nya dengan metode Thomas (matrik tridiagonal) dengan tinjauan neraca massa komponen tiap *plate*. Selain itu kenaikan tekanan berpengaruh pada kesetimbangan uap-cair (VLE) sistem, yaitu *relative volatility* ( $\alpha$ ) semakin kecil yang menyebabkan proses pemisahan lebih lambat.



Gambar 2. Profil komposisi mol cairan tiap *plate* kolom aseton tekanan 0,6 atm dan atmosferik



Gambar 3. Profil komposisi mol uap tiap *plate* kolom aseton tekanan 0,6 atm dan atmosferik

## 2. Pengaruh Tekanan Total Kolom terhadap Temperatur tiap *Plate*

Profil temperatur kolom aseton tiap *plate* untuk tekanan 0,6 atm dan atmosferik ditunjukkan pada **gambar 4**. Bagian bawah kolom ditunjukkan nomor *plate* paling besar dan mengecil sampai bagian atas kolom. Temperatur di bagian *stripping* menurun secara konstan, kemudian penurunan tajam di sekitar *plate* umpan. Pada bagian atas kolom penurunan temperatur konstan kembali. Pada tekanan 0,6 atm, temperatur atas kolom 311,22 K dan bawah kolom 354,78 K sedangkan pada tekanan atmosferik, temperatur atas 326,91 K dan bawah kolom 366,51 K. Perhitungan temperatur tiap *plate* pada kolom berdasarkan metode *bubble point* yang tergantung dari tekanan dan komposisi cairan tiap *plate*. Pada bagian

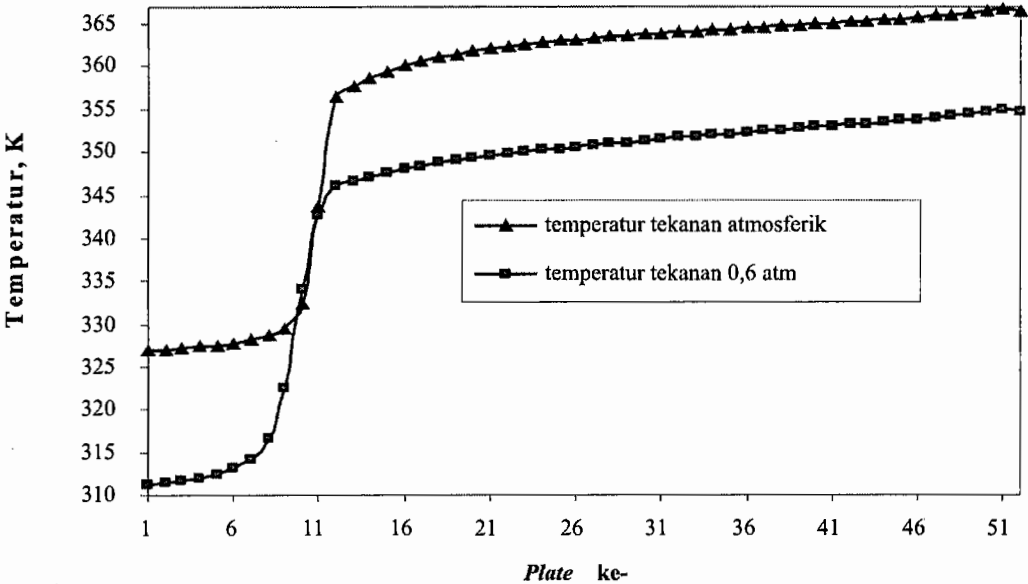
*stripping* terjadi penurunan yang konstan karena distribusi mol cairan yang cenderung konstan (seperti yang ditunjukkan pada **gambar 2**), sehingga temperatur tiap *plate* mengikuti perubahan komposisi. Pada bagian *enriching*, profil temperatur penurunannya tajam ( $\Delta T$ ) besar. Hal ini disebabkan bertambahnya komposisi cairan dari umpan. Pada saat mendekati bagian atas kolom penurunan temperatur konstan kembali, karena komposisi cairan *light key* mendekati murni. Perubahan tekanan dari 0,6 atm menjadi atmosferik menyebabkan kenaikan temperatur tiap *plate*  $\pm 12$  K. Kenaikan temperatur ini disebabkan kenaikan tekanan tiap *plate*. Perhitungan tekanan kolom tergantung pada tekanan total kolom, sehingga naiknya tekanan tiap *plate* menyebabkan kenaikan temperatur (dapat dilihat dari persamaan ln

$p^{sat} = A - (B/C + T)$ ). Distribusi temperatur untuk *plate* yang sama untuk tekanan total kolom 1 atm lebih besar daripada tekanan 0,6 atm, sehingga energi yang dibutuhkan untuk kondensor dan reboiler juga bertambah besar.

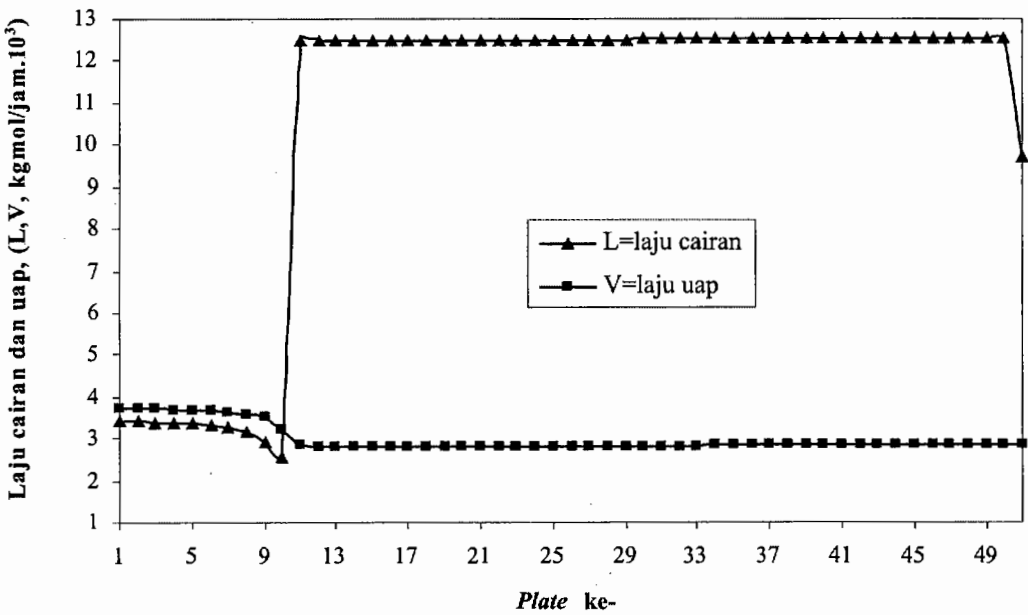
### 3. Pengaruh Tekanan Total Kolom terhadap Laju Cairan dan Laju Uap tiap *Plate*

Gambar 4 dan gambar 5 menunjukkan profil laju cairan ( $L_j$ ) dan laju uap ( $V_j$ ) tiap *plate* untuk

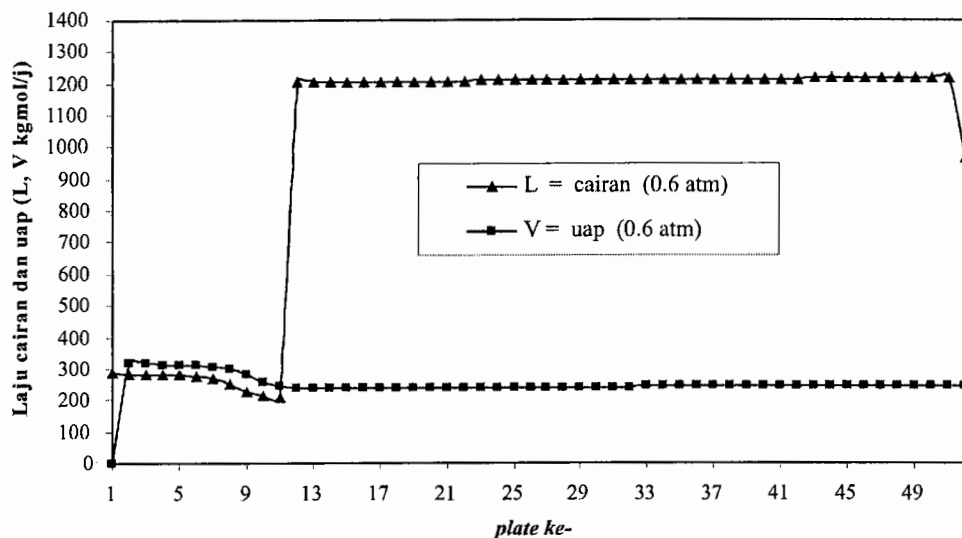
tekanan atmosferik dan 0,6 atm. Untuk tekanan atmosferik bagian bawah kolom laju cairan relatif konstan di tiap *plate* sampai pada bagian *enriching* terjadi penurunan laju cairan sebesar  $\pm 992$  kgmol/jam. Hal ini disebabkan penambahan cairan dari umpan tidak diperhitungkan lagi, sehingga cairan yang berada pada bagian *enriching* hanya cairan dari refluks pada bagian atas kolom.



Gambar 4. Profil temperatur tiap *plate* kolom aseton tekanan dan 0,6 atm dan atmosferik



Gambar 5. Profil laju cairan dan laju uap tiap *plate* kolom aseton tekanan atmosferik



Gambar 6. Profil laju cairan dan laju uap tiap *plate* kolom aseton tekanan 0,6 atm

Selanjutnya terjadi kenaikan laju alir cairan sampai kecepatannya 303 kgmol/jam. Untuk tekanan total kolom 0,6 atm laju alir uap bagian *stripping* konstan tiap *plate*  $\pm 0,1$  sampai 0,3 kgmol/jam, kemudian pada bagian *enriching* terjadi kenaikan 996,26 kgmol/jam pada *plate* ke-11. Selanjutnya kenaikan konstan sampai *plate* ke-1 sebesar 234,04 kgmol/jam. Hal ini terjadi karena bagian *enriching* laju molal cairan tidak diperhitungkan, sehingga kontak antara cairan dan uap menjadi lebih kecil dan uap yang meninggalkan *plate* dan konsentrasinya meningkat. Pada *plate* ke-11 konsentrasi uap meningkat karena laju uap bertambah dengan penambahan umpan berupa cairan jenuh (*saturated liquid*).

#### Pengaruh Tekanan terhadap Refluks Rasio, Laju Distilat, dan Kebutuhan Energi

Perubahan tekanan kolom aseton menyebabkan kenaikan refluks rasio dari 9,11 menjadi 10,89 sebesar 19,58% dan laju distilat dari 31,236 kgmol/jam menjadi 31,3 kgmol/jam dengan *recovery* aseton menurun dari 99% menjadi 98,04% dan produk aseton dari 99,5% berat menjadi 99,4% berat. Hal ini menyebabkan komponen ringan (*light key*) lebih sukar menguap, karena semakin tinggi tekanan, *relative volatility* ( $\alpha$ ) komponen ringan terhadap komponen berat semakin kecil. Kebutuhan reboiler kolom aseton semakin tinggi dari 2.494.678 kal/jam menjadi 2.824.473 kal/jam meningkat sebesar 13,22% dan kebutuhan kondensor dari 2.364.555 kal/jam menjadi 2.717.985 kal/jam meningkat 15%.

$$Fh_F + Q_R - Q_C - Dh_D - Bh_B = 0, B = F - D$$

$$\begin{aligned} Q_R &= Dh_D + Bh_B - Fh_F + Q_C = Dh_D + Bh_B - \\ &Dh_B - Fh_F \\ &= D(h_D - h_B) + Fh_B - Fh_F \end{aligned}$$

Dari persamaan  $Q_R$  dapat dilihat beban panas reboiler dan kondensor yang berpengaruh adalah laju molar produk atas (D), entalpi produk atas dan entalpi produk bawah. Untuk kenaikan tekanan total kolom menyebabkan perbedaan tekanan dan suhu di bagian atas dan bagian bawah semakin besar, hal ini menyebabkan kenaikan beban reboiler dan kondensor.

Energi yang dibutuhkan untuk memvacuumkan kolom aseton 0,6 atm 29.913 kal/jam. Kenaikan tekanan kolom dari 0,6 atm menjadi atmosferik akan menaikkan kebutuhan reboiler 329.795 kal/jam dan kondensor 353.430 kal/jam jadi energi yang ditambahkan 653.312 kal/jam. Dari perhitungan di atas penggunaan energi tidak dapat dihemat, sehingga menaikkan tekanan total kolom menjadi tidak efektif, karena energi yang digunakan lebih besar.

#### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan beberapa hal :

1. Dibandingkan dengan pemisahan pada tekanan 0,6 atm, pemisahan pada kondisi atmosferik memerlukan tambahan energi sebesar 653.312 kal/jam dengan kemurnian 99,4% berat aseton dan *recovery* aseton 98,6%.
2. Kenaikan tekanan total kolom aseton menyebabkan kenaikan refluks rasio, kenaikan beban kondensor dan reboiler, kenaikan distribusi temperatur tiap *plate*, serta kenaikan laju molar uap dan cairan tiap *plate*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Fatyasari Nata, Iryanti dan Chairul Irawan (2003), *"Kondisi Optimum Pemisahan Aseton-Etanol-Air-n-Butanol dengan Kolom Distilasi Vacuum"*, Penelitian Dosen Muda, DIKTI Jakarta.
- Gmehling, J., dan Onken U. (1977), *Vapor-Liquid Equilibrium Data Collection, DECHEMA Chemistry Data Series, I*, DECHEMA, Frankfurt.
- Henley, E. J., dan Seader J. D. (1981), *Equilibrium-Stage Separation Operation in Chemical Engineering*, John Wiley & Sons, Singapore.
- Ismartono, T. dan Syamsul, A.W. (1997), *Pengukuran Kesetimbangan Uap-Cair Sistem Biner Etanol(1)-n-Butanol(2), Aseton(1)-Etanol(2), dan Aseton(1)-n-Butanol(2) pada Tekanan Atmosfir*, Skripsi S-1, ITS, Surabaya.
- Prausnitz, J. M., Sherwood, T.K., dan Poling B.E. (1977), *The Properties of Gases & Liquid*, Edisi 3, McGraw-Hill Book Co., Singapore.
- Reid, R.C., dan Prausnitz, J.M, B.E. (1987), *The Properties of Gas and Liquid*, Mc. Graw Hill International edition, 4<sup>th</sup> edition, Singapore.
- Roffler, S., Blanch, H.W, dan Wilke, C.R. (1987), *"Extractive Fermentation of Acetone and Butanol : Process Design and Economic Evaluation"*, *Biotech. Prog.*, 3, p. 131.
- Renanto, H. dan Iryanti , F.N. (2001), *"Pengaruh Tekanan terhadap Kinerja Kolom Distilasi Aseton dan Etanol pada Pemisahan Campuran Aseton-Etanol-Air-n-Butanol"*, *Majalah IPTEK*, 3, p.134.
- Walas, S.M. (1985), *Phase Equilibrium in Chemical Engineering*, Butterworth Publisher, Boston.
- Wiryanto, dan Teddy, S.W. (1999), *Kesetimbangan Uap-Cair Sistem Biner Etanol(1)-Air(2), Aseton(1)-Air(2), Air(1)-n-Butanol(2) dan Kesetimbangan Cair-cair Air(1)-n-Butanol(2) pada Tekanan Atmosfir*, Skripsi S-1 ITS, Surabaya.